

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. Dezember 2003 (18.12.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/105246 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 41/24**,  
41/083, 41/047

49a, 07927 Hirschberg (DE). **WEHRSDORFER**, Eike  
[DE/DE]; Jenaer Strasse 18a, 07607 Eisenberg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/05051

(74) Anwälte: **KRUSPIG**, Volkmar usw.; Meissner, Bolte &  
Partner, Postfach 860 624, 81633 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
14. Mai 2003 (14.05.2003)

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,  
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,  
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 25 405.2 7. Juni 2002 (07.06.2002) DE  
102 34 787.5 30. Juli 2002 (30.07.2002) DE

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),  
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,  
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,  
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG,  
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): **PI CERAMIC GMBH KERAMISCHE  
TECHNOLOGIEN UND BAUELEMENTE** [DE/DE];  
Lindenstrasse, 07589 Lederhose (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HEINZMANN**, Astrid  
[DE/DE]; Eichenstrasse 25, 07549 Gera (DE). **HENNIG**,  
Eberhard [DE/DE]; Tachover Ring 7, 07646 Stadtroda  
(DE). **KOPSCH**, Daniel [DE/DE]; Ortsteil Dautzschen,  
Vorstadt 7, 04886 Grossstrehen-Zwethau (DE). **PERTSCH**,  
Patrick [DE/DE]; Rodaer Strasse 17e, 07629 Hermsdorf  
(DE). **RICHTER**, Stefan [DE/DE]; Göritz, Ortsstrasse

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF A MONOLITHIC MULTILAYER ACTUATOR, MONOLITHIC MULTI-  
LAYER ACTUATOR MADE OF A PIEZOCERAMIC OR ELECTROSTRICTIVE MATERIAL, AND EXTERNAL ELECTRICAL  
CONTACT FOR A MONOLITHIC MULTILAYER ACTUATOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES MONOLITHISCHEN VIELSCHICHTAKTORS SOWIE, MO-  
NOLITHISCHER VIELSCHICHTAKTOR AUS EINEM PIEZOKERAMISCHEN ODER ELEKTROSTRIKTIVEN MATERIAL  
SOWIE ELEKTRISCHE AUSSENKONTAKTIERUNG FÜR EINEN MONOLITHISCHEN VIELSCHICHTAKTOR

(57) Abstract: Disclosed are a method for the production of a monolithic multilayer actuator, a corresponding monolithic multilayer  
actuator, and an external electrical contact for a monolithic multilayer actuator. Microdisturbances are incorporated in a specific  
manner into the actuator structure along the longitudinal axis of the stack thereof, essentially parallel to and at a distance from the  
inner electrodes in the area of the at least two opposite outer surfaces to which the conventional inner electrodes are brought out.  
Said microdisturbances are subjected to a predefined, restricted, voltage-reducing growth towards the inside and/or towards the outer  
electrode no sooner than the time that the actuator is polarized. The basic metallic coating and/or external contact is/are embodied  
in a tensile-resistant or elastic manner at least in the area of the microdisturbances within the actuator structure.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Vielschichtaktors, einen ent-  
sprechenden Vielschichtaktor sowie eine Aussenkontaktierung für einen monolithischen Vielschichtaktor. Erfindungsgemäss sind  
entlang der Stapellängsachse des Aktors im wesentlichen parallel zu den Innenelektroden, von diesen beanstandet, im Bereich der  
mindestens zwei gegenüberliegenden Aussenflächen, zu denen die an sich bekannten Innenelektroden herausgeführt sind, gezielt Mi-  
krostörungen im Aktorgefüge eingebaut, welche frühestens beim Polarisieren des Aktors einen vorgebenen, begrenzten, spannungs-  
abbauenden Wachstum in das Innere und/oder zur Aussenelektrode unterliegt, wobei weiterhin die Grundmetallisierung und/oder  
Aussenkontaktierung mindestens im Bereich der Mikrostörungen im Aktorgefüge dehnungsresistent oder elastisch ausgebildet ist.

**BEST AVAILABLE COPY**

Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Vielschichtaktors sowie,  
monolithischer Vielschichtaktor aus einem piezokeramischen oder elektrostriktiven  
Material sowie elektrische Aussenkontaktierung für einen monolithischen  
Vielschichtaktor

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Vielschichtaktors aus einem piezokeramischen oder elektrostriktiven Material, wobei der Aktor als Stapelanordnung in quasi mechanischer Reihenschaltung einer Vielzahl von Piezoplatten durch Sintern durch Grünfolien ausgebildet wird, vorhandene Innen-  
5 elektroden im Plattenstapel zu gegenüberliegenden Außenflächen des Stapels geführt und dort mittels Grundmetallisierung sowie Außenkontaktierung jeweiliger Elektrodengruppen parallel verschalten sind gemäß Oberbegriff des Patentanspruches 1. Weiterhin betrifft die Erfindung einen monolithischen Vielschichtaktor aus einem piezokeramischen oder elektrostriktiven Material, wobei der Aktor eine Stapelanordnung von Piezoplatten ist, welche über innere Elektroden, eine gemeinsame  
10 Grundmetallisierung sowie Außenkontaktierung verfügt gemäß Oberbegriff des Patentanspruches 13 sowie eine elektrische Außenkontaktierung für einen monolithischen Vielschichtaktor aus einem piezokeramischen oder elektrostriktiven Material gemäß Oberbegriff des Patentanspruches 21.

15

Piezokeramische Aktoren sind elektro-mechanische Wandler, bei denen der reziproke piezoelektrische Effekt ausgenutzt wird. Legt man an eine piezokeramische Platte mit Elektroden auf ihren Hauptflächen, die in Richtung der Plattendicke polarisiert ist, ein elektrisches Feld an, so kommt es zu einer Formänderung. Konkret vollzieht  
20 sich eine Ausdehnung in Richtung der Plattendicke, wenn das angelegte elektrische Feld parallel zum ursprünglichen Polungsfeld gerichtet ist. Gleichzeitig kommt es senkrecht zur Feldrichtung zu einer Kontraktion.

Durch Übereinanderstapeln einer Vielzahl solcher Platten im Sinne einer mechanischen Reihenschaltung und elektrischer Parallelschaltung der Platten, können so die  
25 Deformationen der einzelnen Platten addiert werden. Bei einem Dehnvermögen von etwa 0,1 - 0,2 % bei Feldstärken von 2 kV/mm lassen sich so Auslenkungen von etwa 1 - 2 µm pro mm Bauhöhe realisieren.

Bei monolithischen Vielschichtaktoren erfolgt das Stapeln bereits im grünen Zustand und die endgültige Verbindung wird durch Sintern vorgenommen. Hierbei werden bis zu einigen hundert piezokeramische Grünfolien alternierend mit metallischen Innenelektroden gestapelt, verpreßt und zu einem monolithischen Körper gesintert. Die

5 Innenelektroden werden dabei wechselseitig auf die gegenüberliegenden Flächen bis zur jeweiligen Oberfläche herausgezogen und dort im Regelfall durch eine Grundmetallisierung in Dick- oder Dünnschichtausführung miteinander verbunden.

Dieses Design wird auch als Ausführung mit Interdigitalelektroden bezeichnet. Ein piezoelektrischer Aktor umfasst also piezokeramische Schichten und Gruppen von  
10 inneren Elektroden, die jeweils auf gegenüberliegende Flächen bis an die Oberfläche führen. Eine Grundmetallisierung dient der Parallelschaltung der jeweiligen Elektrodengruppe. Weiterhin sind inaktive Bereiche vorhanden, die weder beim Polarisieren noch beim üblichen Betrieb des Aktors piezoelektrisch gedehnt werden.

15 Diese inaktiven Bereiche in den Multilayaktoren mit interdigitalen Elektroden stellen ein kritisches Moment für die Herstellbarkeit und Zuverlässigkeit derartige Produkte bzw. unter Rückgriff auf solche Produkte realisierter Finallerzeugnisse dar. Aufgrund der hohen Zug- Spannungskonzentrationen in den inaktiven Bereichen und in Verbindung mit der geringen Zugfestigkeit der piezokeramischen Werkstoffe kommt es  
20 bereits bei der Polarisierung, die mit remanenten Dehnungen von bis zu 0,3 % verbunden ist oder aber später beim Betrieb zu unerwünschten Rissbildungen.

Die vorgenannte unkontrollierte Rissbildung hat verschiedenste Ausfallmechanismen der Aktoren zur Folge. Setzt sich das Risswachstum in das Innere des Aktors fort,  
25 kann dies einerseits zur mechanischen Zerstörung des Aktors führen, andererseits können hierdurch bedingt innere Überschläge auftreten, wenn der Riss von einer Elektrodenschicht zur anderen wächst. Mit einer geeigneten Prozessführung kann das Risswachstum in das Innere des Aktors begrenzt werden. Nicht verhindert werden kann allerdings das Risswachstum in Richtung der Aktoroberfläche. Erreicht der  
30 Riss die Aktoroberfläche, führt dies zur Unterbrechung der auf der Oberfläche aufgetragenen Grundmetallisierung. Hierdurch werden Teilbereiche des Aktors galvanisch von der Spannungszuführung abgetrennt und infolge dessen treten elektrische Überschläge an den Unterbrechungen der Grundmetallisierung auf. Diese Überschläge wiederum sind der Grund, die letztendlich zum Totalausfall des Aktors führen.  
35

Zur Überwindung der zitierten Rissproblematik sind eine Vielzahl von Lösungen bekannt, die entweder die Verhinderung der Rissbildung oder bei nicht zu vermeidenden unkontrollierten Rissbildungen ein Reduzieren oder Eliminieren von Überschlängen an der Grundmetallisierung auf die Oberfläche durch zusätzliche Maßnahmen zum Ziel haben.

Die JP 58-196077 offenbart einen Multilayeraktor und ein Verfahren zu seiner Herstellung, bei dem entlang der Aktorachse eine Vielzahl von Schlitten mit einer Tiefe von etwa 0,5 mm parallel zu den inneren Elektroden in den Aktor eingebracht wird.

Diese Schlitten führen ähnlich wie die aus anderen Bereichen der Technik bekannten Dehnungsfugen zum Abbau von Spannungskonzentrationen und verhindern somit eine unkontrollierte Rissbildung oder ein Wachstum des Risses im Aktorgefüge.

Nachteilig ist jedoch die Tatsache, dass durch diese Schlitten auch der tragende Querschnitt des Aktors verringert ist, was gleichzeitig die Druckbelastbarkeit des

Aktors im Einsatz verringert. Beim angegebenen Beispiel reduziert sich der tragende Querschnitt des Aktors auf  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  bei einem Gesamtquerschnitt von  $4 \times 4 \text{ mm}^2$ .

Das zitierte Verfahren, bei dem die Schlitten durch thermisch zersetzbare Schichten auf den grünen Keramikfolien beim Sintern gebildet werden, weist auch auf weitere Probleme hin, die beim Sintern zu einem ebenfalls unkontrollierten Risswachstum führen können und die nur durch spezielle aufwendige Ausgestaltungen der inneren Elektroden verhinderbar sind. Als Ursache für die Rissbildung beim Sintern wird dort die inhomogene Verdichtung des grünen Stapels beim Verpressen erwähnt.

Bei der EP 0 844 678 A1 wird ebenfalls auf die Problematik der Rissbildung und deren Folgen eingegangen, wenn durch die Risse die Grundmetallisierung zerstört wird.

Zur Vermeidung von Schädigungen des Aktors wird dort vorgeschlagen, zwischen der Spannungszuleitung und der Grundmetallisierung eine dreidimensional strukturierte elektrisch leitfähige Elektrode einzufügen, die nur partiell mit der Grundmetallisierung verbunden ist und die zwischen den Kontaktstellen dehnbar ausgebildet wird. Die praktische Realisierung eines solchen dreidimensionalen Struktur erfordert aber einen sehr hohen Aufwand, da die partiellen Kontaktstellen einen definierten Abstand in der Größenordnung des Abstandes der inneren Elektroden haben müssen.

Bei der Anordnung für eine sichere Kontaktierung von piezoelektrischen Aktoren nach DE 196 46 676 C1 wird an der als Kontaktstreifen ausgebildeten Grundmetallisierung eine elektrische leitende Kontaktfahne mit hoher Rissfestigkeit so angebracht, dass ein überstehender Bereich der Kontaktfahne verbleibt. Dabei muss der überstehende Bereich der Kontaktfahne so groß ausgebildet werden, dass auftretende Risse die Kontaktfahne nicht vollständig durchtrennen. Eine solche Anordnung ist aber sehr empfindlich beim Handling. Bekanntlich besitzt die Grundmetallisierung auf der Oberfläche des piezokeramischen Aktors nur eine sehr geringe Schälfestigkeit. Bereits geringe Schälkräfte führen zur Ablösung der Grundmetallisierung von der Aktoroberfläche und somit zum teilweisen oder vollständigen Verlust der elektrischen Kontaktierung zu den Innenelektroden.

Eine weitere Variante, dass Risswachstum vom Aktorkörper zur Oberflächenelektrode zu entkoppeln ist in der DE 100 17 331 C1 offenbart. Dort wird vorgeschlagen, zwischen Grundmetallisierung und Außenelektrode eine elektrisch leitende Pulverschicht einzubringen. Eine solche Anordnung verhindert zwar den Rissfortschritt, ist aber technisch nur unter erheblichen Aufwendungen zuverlässig zu realisieren, da der elektrische Kontakt der Pulverteilchen mit der inneren und äußeren Elektrode und untereinander nur über Berührung erfolgt, was einen Kontaktmindestdruck erfordert. Weiterhin sind berührende Kontakte sehr stark gegenüber Korrosionsercheinungen anfällig.

Die WO 00-79607 A1 und WO 00-63980 A1 offenbaren Lösungen, die darauf abzielen, jede der an die Oberfläche herausgeführten Elektroden einzeln zu kontaktieren. Bei Elektrodenabständen von 50 - 250  $\mu\text{m}$  ist dies jedoch nicht kostengünstig umsetzbar.

Aus dem Vorgenannten ist es daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Vielschichtaktors aus einem piezokeramischen oder elektrostriktiven Material anzugeben, mit dessen Hilfe es gelingt einen Aktor mit hoher Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität zu schaffen, welcher darüber hinaus in der Lage ist, hohen Druckkräften bei geringem Aktorquerschnitt Stand zu halten. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung einen monolithischen Vielschichtaktor aus einem piezokeramischen oder elektrostriktiven Material zu schaffen, wobei dieser neuartige Aktor über verbesserte Gebrauchseigenschaften verfügen soll.

Letztendlich gilt es, eine elektrische Außenkontaktierung für einen monolithischen Vielschichtaktor anzugeben, welche das Auftreten von Überschlägen aufgrund von Risserscheinungen hinein in die Grundmetallisierung wirksam verhindert und die mit üblichen Prozessen in der Elektronikindustrie hergestellt werden kann.

5

Die verfahrensseitige Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit einer Lehre in der Definition nach Patentanspruch 1.

10 Bezüglich des Vielschichtaktors selbst sei auf die Merkmalskombination nach Anspruch 13 und mit Blick auf die elektrische Außenkontaktierung auf die Merkmale gemäß Anspruch 21 verwiesen.

Die Unteransprüche stellen jeweils mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgegenstandes dar.

15

Der Grundgedanke der Erfindung liegt unter Berücksichtigung der in den Ansprüchen konkretisierten Lehre darin, entlang der Aktorachse und im wesentlichen parallel zu den Innenelektroden im Bereich der mindestens zwei gegenüberliegenden Aussen-

20 Mikrostörungen im Aktorgefüge so einzubauen, dass diese als quasi am vorbekannten Ort stehende Rissquelle wirken, wobei das Risswachstum kontrollierbar ist.

Die Aussenkontaktierung wird durch eine in Ansicht bekannter Weise mittels Dick- oder Dünnschichttechnologie realisierte Grundmetallisierung gebildet, wobei die Elektrodenbereiche zwischen den Orten der Mikrostörungen und möglicher, nach  
25 außen reichende Risse durch eine dehnungsresistente, zweite Aussenelektrode miteinander verbunden werden.

Durch den gezielten Einbau von Gefügeschwächungen, die als potentielle Rissquelle wirken, kann eine weitere Rissbildung gezielt gesteuert werden. Bei einem Abstand  
30 der Rissquellen im Bereich von ein 1 - 4, bevorzugt 2 - 3 mm werden die inneren mechanischen Spannungen so abgebaut, dass in den Abschnitten zwischen den Rissquellen auch bei zyklischer Belastung von weit über  $10^9$  Zyklen keine weitere Rissbildung beobachtet wird.

35 Von erfindungswesentlicher Bedeutung ist, dass die gezielt eingebrachten Mikrostörungen im Aktorgefüge selbst noch keinen Riss im eigentlichen Sinne darstellen. Der

gezielt gesteuerte Riss entsteht erst nach der Polarisierung des Aktors und zwar nur in dem Umfang, wie beim Polarisieren remanente Dehnungen gegeben sind. Dadurch, dass das Gefüge beim Schritt des Aufbringens der Grundmetallisierung noch geschlossen ist, dringt auch keine Metallisierungsmasse in das piezokeramische Material ein, was zu einer wesentlichen Qualitätsverbesserung derartig realisierter Aktoren führt.

Die Mikrostörungen verhindern örtlich begrenzt das Zusammensintern der Grünfolien mit dem Ergebnis einer dezidierten Delaminierung.

Zum Erreichen dieses Delaminierens besteht die Möglichkeit im Bereich gewünschten Mikrostörungen beim Stapelaufbau einer Schicht oder Mengen eines organischen Binders aufzubringen, welche einen Volumenanteil von bis zu 50% organischer Partikel mit einem Durchmesser  $\leq 200$  nm enthält, die beim Sinterprozess nahezu vollständig ausbrennen.

Diese vorgeschriebene Schicht kann durch Siebdruck aufgebracht werden und wird vor dem Sintern durch Pressen derart verdichtet, dass die in den Grünfolien eingebetteten Keramikpartikel sich nur teilweise oder nicht berühren, um gezielt ein Zusammensintern ganz oder teilweise zu unterbinden.

Alternativ besteht die Möglichkeit die Mikrostörungen durch eine Menge anorganischer Füllpartikel mit einem Durchmesser von  $\leq 1 \mu\text{m}$  auszubilden, wobei diese Füllpartikel nicht mit den piezoelektrischen Werkstoff des Stapels reagieren. Die Füllpartikel werden in an sich bekannter Weise dem Binder zugesetzt und stellen ein Bestandteil des Letzteren dar.

Bei einer weiteren Ausführungsform besteht die Möglichkeit die Mikrostörungen durch Kerbanrisse zu induzieren, wobei diese Kerbanrisse entweder im grünen oder gesinterten Zustand erzeugt werden, ohne jedoch die tragende Querschnittsfläche des Aktorstapels zu reduzieren.

Dadurch, dass die Lage potentieller Risse durch das definierte Einbringen der Mikrostörungen bekannt ist, besteht die Möglichkeit in Kenntnis dieser Position oder Lage die Aussenkontaktierung auszugestalten. Erfindungsgemäß besteht die Aussenkontaktierung jeweils aus einer flächigen Biegegelelektrode, welche mit der Grund-

metallisierung mindestens im Bereich zwischen den Mikrostörungen elektrisch in Verbindung steht.

5 Konkret kann die flächige Biegeelektrode einen aufgelöteten Kupfer/Berylliumstreifen umfassen, wobei der Streifen jeweils offene Ellipsenform aufweisende Abschnitte umfasst. Die Hauptachse der jeweiligen offenen Ellipsen verläuft im Bereich der jeweiligen Mikrostörung.

10 Bei einer Alternative ist die Biegeelektrode als Mäander- oder Doppelmäanderelektrode ausgeführt, wobei die Verbindungsabschnitte des Mäanders jeweils im Bereich der Mikrostörungen verlaufen.

Auf den Biegeelektroden befinden sich Lötabschnitte oder Lötunkte zur Kontaktierung mit der Grundmetallisierung und/oder zur weiteren Verdrahtung.

15

Die Stapelanordnung, welche den Aktor bildet, umfasst elektrodenfreie passive Endschichten als Kraftkoppelflächen.

20

Der Abstand der ersten Mikrostörung zur passiven Endschicht ist gleich dem ganzen oder halben Abstand der übrigen, über die Längsachse verteilten Mikrostörungen gewählt.

25

Der erfindungsgemäße Vielschichtaktor aus einem piezokeramischen oder elektrostriktiven Material weist entlang der Stapellängsachse im wesentlichen parallel zu den Innenelektroden delaminierende Mikrogefügestörungen auf, wobei dort die Zugfestigkeit im Vergleich zum umgebenden Gefüge bei gleichzeitigem Erhalt der Druckfestigkeit des Stapels verringert ist.

30

Weiterhin besitzt der monolithische Vielschichtaktor jeweils dehnungsresistente, flächige Aussenelektroden, welche nur punktuell mit der Grundmetallisierung im Bereich zwischen den delaminierenden Mikrogefügestörungen verbunden ist.

35

Die Aussenelektrode kann in einer Ausführungsform als Mäander oder Doppelmäander mit Biegegelenkfunktion gestaltet sein. Auch besteht die Möglichkeit diese Aussenelektrode als Aneinanderreihung offener Ellipsen im Sinne eines Ellipsenringes mit Biegegelenkfunktionen auszubilden, wobei zwischen den Ellipsen im wesentli-

chen in Richtung der Nebenachsen verlaufend ein Verbindungs- und Kontaktierungssteg vorhanden ist.

Die Hauptachse der jeweiligen offenen Ellipsen der Aussenelektrode verläuft im wesentlichen im Bereich der Mikrogefügestörungen. Dort möglicherweise entstehende, nach aussen dringende Risse ziehen keine elektrische Unterbrechung der Kontaktierung nach sich.

Am oberen und/oder unteren Ende des Aktors ausgebildete passive Endschichten können als monolithische Isolatorschicht ausgebildet werden, welche Koppellemente trägt oder aufnimmt.

Die erfindungsgemäße elektrische Außenkontaktierung für einen monolithischen Vielschichtaktor besteht aus Aussenelektroden in Form eines dehnungsresistenten, quasi elastischen, nur punktuell mit der Grundmetallisierung verbunden metallischen, respektive leitfähigen Streifen, welche eine Vielzahl von einzelnen, in einer Ebene befindlichen Biege Gelenken besitzt. Die Streifen sind z. B. aus einer Kupfer/Beryllium-Legierung gefertigt oder bestehen aus einem vergleichbare Eigenschaften aufweisenden Material.

Zusammenfassend liegt der Lösungsansatz der Erfindung darin, gezielt in dem Aktormaterial für Gefügeschwächungen Sorge zu tragen, so dass an dann bekannten Stellen Risse entstehen und zwar erstmals dann, wenn der Aktor einer Polarisation unterworfen wird. Dadurch, dass die Lage der gezielten erzeugten Risse bekannt ist, kann durch eine entsprechende dehnbare Elektrodenkonfiguration dafür gesorgt werden, dass eine elektrische Kontaktierung in jedem Fall sicher stattfindet bzw. erhalten bleibt.

Bekanntermaßen findet ein Risswachstum im wesentlichen senkrecht zur Aktorlängsachse und zwar in beiden Richtungen, das heißt sowohl ins Innere des Aktors hinein als auch nach aussen zur Grundmetallisierung hin statt. Dies ist üblicherweise ein negativer Effekt. Da aber erfindungsgemäß die Aussenkontaktierung aufgrund der bekannten Lage der Risse modifizierbar ist, können potentielle Risse von vornherein überbrückt werden und es werden die im Stand der Technik gegebenen Ausfallerscheinungen reduziert.

Gemäß dem Stand der Technik ist es notwendig eine möglichst hohe Anzahl von Kerben oder Schlitze, insbesondere auch im Endbereich des Aktors einzubringen, da die Spannungsverhältnisse im Aktor selbst nicht bekannt sind. Jeder der einzubringenden Kerben oder Schlitze führt aber zu einer verringerten mechanischen Stabilität und damit Belastbarkeit des Aktors selbst.

Bei der vorliegenden Erfindung werden zwar gezielte Gefügeveränderungen eingebaut, die potentiell auch einen Riss nach sich ziehen können, wenn entsprechende Spannungen auftreten, dies ist aber nicht vergleichbar mit einer von vornherein unabwendbaren mechanischen Schwächung des Gefüges durch einen Schlitz, der beispielsweise durch Fräsen, Einkerbungen oder ähnlich erzeugt wird. Die aus dem Stand der Technik bekannten Schlitze entsprechen einem Materialabtrag. Der materialabgetragene Bereich des Aktors leistet aber augenscheinlich keinen Festigkeitsbeitrag mehr.

In dem Falle, wenn in die Binderschicht größere, ein zusammensintern verhindernde Partikel eingebracht werden verbleibt der vorteilhafte Effekt, dass eine Tragfähigkeit- oder Kraftübernahme durch diese Partikel gewährleistet ist, die einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Gesamtstabilität leisten. Hierbei ist wesentlich, das beim Aktor selbst nur Druckkräfte in Richtung der Aktorlängsachse interessieren.

Die Kerbanrisse nach der Erfindung sind keinesfalls vergleichbar mit den makroskopischen Kerben nach dem Stand der Technik. Hier handelt es sich vielmehr um im Mikrometerbereich liegende Eindrücke, die quasi mit den Eindrücken eines Probekörpers, wie aus der Materialprüfung bekannt, vergleichbar sind.

Wie oben erläutert, ist dafür Sorge zu tragen, dass bei dem Übereinanderschichten der einzelnen Folien zwischen ausgewählten Bereichen von Folien oder Schichten ein Delaminationseffekt eintritt. Dieses bedeutet, dass dort eine Zugbeanspruchung nicht möglich ist, jedoch die benachbarten Folien so dicht aufeinanderliegen, dass eine Druckkraftübertragung möglich wird und zwar im Gegensatz zu den Bereichen mit Schlitz oder Kerbe nach dem Stand der Technik.

Bei einer Ausführungsform kann der Abstand zwischen zwei wechselseitig herausgeführten Elektroden in einem oberen und/oder unteren Endbereich des Aktors doppelt so groß sein wie zu den darunterliegenden, benachbarten Elektroden. Aufgrund

des größeren Abstandes ist ein Hineinwandern eines durch das veränderte Mikrogefüge bedingten Risses in den Elektrodenbereich und damit ein Unterbrechen der Elektrode im Inneren des Aktors verhinderbar. Der Nachteil einer dort vorliegenden anderen Feldstärke wird auf jeden Fall vom Vorteil des aktiven Leistungsbeitrages  
5 des Aktors in diesem Bereich aufgehoben.

Der Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

10 Hierbei zeigen:

Figur 1 eine prinzipielle Stapelaktoranordnung nach dem Stand der Technik;

Figur 2a ein erfindungsgemäßer Aktor vor der Polarisierung;

15

Figur 2b ein Aktor nach der Polarisierung;

Figur 3a eine Ausführungsform der Aussenkontaktierung mit Mäanderelektrode;

20 Figur 3b eine Ausführungsform der Aussenelektrode mit offenen Ellipsen;

Figur 4a eine Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen Aktors mit verändertem Abstand gegenüberliegender Innenelektroden in vorgegebenen Endbereichen und

25

Figur 4b eine Seitenansicht eines Teiles eines erfindungsgemäßen Aktors mit erkennbarer Elektrodenanordnung in Form von Biegegelenken, ausgebildet als offene, durch Stege verbundene Ellipsen.

30 Die in der Figur 1 gezeigte Ausführungsform eines Vielschichtaktors nach dem Stand der Technik geht von einer Interdigitalenelektrodenanordnung aus. Mit dem Bezugszeichen 1 ist der Aktor selbst, mit dem Bezugszeichen 2 sind die piezokeramischen Schichten benannt. Die inneren Elektroden 3 und 4 sind jeweils auf die gegenüberliegenden Flächen bis an die Oberfläche herausgeführt. Die Grundmetallisierung 5  
35 dient der Parallelschaltung der jeweiligen Elektrodengruppe. Ein inaktiver Bereich 6

des Aktors 1 wird weder beim Polarisieren noch beim Betrieb des Aktors 1 piezoelektrisch gedehnt und bildet ein Spannungsrisspotential.

5 Der erfindungsgemäße Aktor gemäß dem Ausführungsbeispiel nach den Figuren 2a und 2b umfasst piezokeramische Schichten 2 mit einer Dicke im Bereich von 20 - 100  $\mu\text{m}$ . Diese Schichten sind durch innere Elektroden 3 und 4, vorzugsweise bestehen aus einer AgPd-Legierung miteinander verbunden, die wechselseitig auf gegenüberliegende Oberflächen herausgeführt sind.

10 Die herausgezogene Elektroden 3, 4 werden über eine Grundmetallisierung 5, die auf den Seitenoberflächen aufgebracht wird, miteinander verbunden, so dass eine elektrische Parallelschaltung der einzelnen piezoelektrischen Schichten resultiert.

15 Im Bereich 6, der nicht bis zur Oberfläche herausgezogenen Elektroden 3, 4 entstehen aufgrund der inhomogenen elektrischen Feldverläufe in bekannter Weise bei der Polarisierung oder beim Betrieb des Aktors mechanische Spannungskonzentrationen, insbesondere Zugspannungen, die letztendlich Ursache für eine unerwünschte, unkontrollierte Rissbildung sind.

20 Durch den gezielten Einbau von Gefügeschwächungen, die als Rissquelle 7 wirken, kann die Rissbildung gesteuert werden.

Bei einem Abstand der Rissquellen 7 im Bereich von 1 - 4 mm, bevorzugt 2 - 3 mm können die inneren mechanischen Spannungen so abgebaut werden, dass in den 25 Abschnitten zwischen den Rissquellen, auch bei Belastungen von weit über  $10^9$  Zyklen keine weitere Rissbildung beobachtet wird.

Figur 2b zeigt den erfindungsgemäßen Aktor nach der Polarisierung. Hier ist die Entspannungswirkung schematisch dargestellt. Von der Rissquelle 7 geht dabei einerseits ein gezieltes Risswachstum 8 in das Innere des Aktors aus, welches durch eine 30 geeignete energiesenkende Gefügebildung über Vorgabe von Korngrößen und Porosität von selbst gestoppt oder unterbrochen wird.

Andererseits ergibt sich aber auch ein Risswachstum in die Grundmetallisierung an 35 der Stelle 9 hinein, welches im ungünstigsten Fall zur Durchtrennung der Grundmetallisierungsschicht 5 führt.

Beim gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt die elektrische Verbindung der einzelnen Bereiche durch einen bogenförmig verlegten Draht 10, der punktuell über einen Löt- punkt 11 mit der Grundmetallisierung verbunden ist.

- 5 Die vorstehend erwähnten Rissquellen sind auf verschiedene Weise in den Aktor implementierbar. Grundsätzlich gilt es, an vorbestimmten Stellen ein Zusammensin- tern der aufeinandergestapelten und verpressten Grünfolien ganz oder partiell zu verhindern, so dass an diesen Stellen die Zugfestigkeit im Vergleich zum umgeben- den Gefüge verringerbar ist. Vorstehendes wird dadurch erreicht, dass in den vorge-  
10 gebenen Bereichen beim Aufbau der Stapel eine Schicht eines organischen Binders durch Siebdruck aufgetragen wird, die mit einem Volumenanteil von bis zu 50% mit organischen Partikeln mit einem Durchmesser  $< 200 \text{ nm}$ , die beim Sinterprozess voll- ständig ausbrennen, gefüllt ist.
- Diese Schicht wird in den weiteren Verfahrens- oder Verarbeitungsstufen beim Ver-  
15 pressen auf eine Dicke  $< 1 \text{ }\mu\text{m}$  zusammengepresst und sorgt dafür, dass die in den Grünfolien eingebetteten Keramikkörper sich nicht oder nur partiell berühren, so dass beim Sintern der Materialtransport von Korn zu Korn ganz oder teilweise ver- hindert ist.
- 20 Eine alternative Möglichkeit besteht darin, dass anstelle organischer Füllpartikel an- organische Partikel mit einem Durchmesser  $< 1 \text{ }\mu\text{m}$ , die nicht mit dem piezoelektri- schen Werkstoff reagieren, wie z.B.  $\text{ZrO}_2$  oder Pulver eines gesinterten PZT-Werk- stoffes mit einer im wesentlichen gleichen Zusammensetzung wie der Aktorwerkstoff dem Binder zugesetzt werden.
- 25 Auch können Rissquellen dadurch erzeugt werden, indem entweder im grünen oder im gesinterten Zustand Mikro-Kerbanrisse ausgeführt werden.

Der oben beschriebene Abbau der inneren mechanischen Spannungen durch eine gezielte Risseinbringung in den Aktor besitzt gegenüber den bekannten Lösungen  
30 wesentliche Vorteile. So wird z.B. der belastbare Querschnitt des Aktors nur unwesentlich verringert, da die gezielt erzeugten Rissflächen bei Einwirkung einer Druck- kraft in Richtung der Aktorachse aufeinandergepresst werden und somit zum tra- genden Querschnitt beitragen.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass sich der Riss frühestens beim Polarisieren  
35 öffnet und somit beim Aufbringen der Grundmetallisierung keine Metallpartikel in das Innere des Aktors gelangen können. Hierdurch ergibt sich eine wesentlich ver-

bessere Qualität entsprechend gestalteter Aktoren im Vergleich zum Stand der Technik.

Ein Vorteil besteht auch darin, dass für eine sichere und langzeitstabile elektrische Kontaktierung des Aktors eine einfache, dehnungsresistente Aussenelektrode realisierbar ist, die nur punktuell mit der Grundmetallisierung zwischen den Entspannungsrisen zu verbinden ist.

Eine Ausgestaltung einer dehnungsresistenten bzw. elastischen Aussenelektrode in Schlitz- oder Mäanderform zeigt Figur 3a. Dort sind auch passive Endschichten ohne innere Elektroden gezeigt, die eine Kraftkoppelfläche bilden. Diese Endschichten können z.B. aus einem monolithischen Isolationsmaterial bestehen und dienen der Aufnahme von verschiedenen Koppellementen.

Eine ebenso mit passiven Endschichten versehene Ausführungsform des Aktors zeigt Figur 3b.

Dort ist eine Festkörpergelenke umfassende Aussenelektrode in Form von offenen Ellipsen vorhanden. Die Hauptachse der jeweiligen offenen Ellipse verläuft im wesentlichen im Bereich erwarteter Risse. Die einzelnen Ellipsen weisen Stege auf, die der elektrischen Kontaktierung der Ellipsen untereinander dienen. Im Bereich der Stege ist jeweils ein Löt看unkt ausgebildet.

Gemäß der Ausführungsform nach Figur 3 ist der Abstand vom ersten Entspannungsriß zur passiven Endschicht 14 gleich dem Abstand der Entspannungsrisse untereinander gewählt. Bei der zweiten Ausführungsform nach Figur 3b beträgt der Abstand des ersten Entspannungsrisse 7 zur passiven Endschicht 14 gleich dem halben Abstand der übrigen Spannungsrisse untereinander.

Die Figur 4a offenbart einen in bestimmten Abschnitten des Aktors vorhandenen größeren Abstand der Innenelektroden 3 und 4. Dieser doppelte Abstand im Vergleich zu benachbarten Innenelektroden reduziert die Gefahr, dass ein dazwischen befindlicher Riß 7 zu den Innenelektroden wandert und deren Kontaktierung hin zur Grundmetallisierung bzw. entsprechende elektrische Verbindung unterbricht.

Die in den Figuren 3a und 3b schematisch gezeigte flächige Gestaltung der, z. B. aus Kupfer- Berylliummaterial bestehenden Aussenelektrode ist nur beispielhaft zu verstehen. Grundsätzlich ist jede flächige Aussenelektrodenform geeignet, die in

lateralen Richtung zerstörungsfrei Dehnungs- bzw. Spannungskräfte aufnehmen kann.

### Bezugszeichenliste

5		
	1	Aktor
	2	piezokeramische Schicht
	3,4	innere Elektroden
	5	Grundmetallisierung
10	6	inaktiver Bereich des Aktors
	7	Mikrogefügeänderung
	8	durch Polarisierung ausgelöster gezielter Mikroriss
	9	Unterbrechung der Grundmetallisierung
	10	bogenförmig verlegter Draht
15	11	Lötpunkt
	12	mäanderförmige Aussenelektrode
	13	Ellipse einer entsprechend ausgebildeten Aussenelektrode
	14	Endbereiche der Aktors, bevorzugt als monolithische Isolations- schicht ausgeführt
20	15	Verbindungsstege der Ellipsenform - Aussenkontaktierung

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Vielschichtaktors aus einem piezokeramischen oder elektrostriktiven Material, wobei der Aktor als Stapelanordnung in quasi mechanischer Reihenschaltung einer Vielzahl von Piezoplatten durch Sintern von Grünfolien ausgebildet wird, vorhandene Innenelektroden im Plattenstapel zu gegenüberliegenden Aussenflächen des Stapels geführt und dort mittels Grundmetallisierung sowie Aussenkontaktierung jeweiliger Elektrodengruppen parallel verschalten sind,
- dadurch gekennzeichnet, dass entlang der Stapellängsachse im wesentlichen parallel zu den Innenelektroden, von diesen beabstandet, im Bereich der mindestens zwei gegenüberliegenden Aussenflächen, zu denen die Innenelektroden herausgeführt sind, gezielt Mikrostörungen im Aktorgefüge eingebaut werden, welche frühestens beim Polarisieren des Aktors einem vorgegebenen, begrenztem, spannungsabbauendem Wachstum in das Innere des Aktors unterliegen und weiterhin die Grundmetallisierung und/oder die Aussenkontaktierung mindestens im Bereich der Mikrostörungen im Aktorgefüge dehnungsresistent oder elastisch ausgebildet ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrostörungen örtlich begrenzt ein Zusammensintern der Grünfolien verhindern.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich der Mikrostörungen beim Stapelaufbau eine Schicht oder Menge eines organischen Binders aufgebracht wird, welche einen Volumenanteil von bis zu 50 % organischer Partikel mit einem Durchmesser  $\leq 200$  nm enthält, die beim Sinterprozess nahezu vollständig ausbrennen.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht durch Siebdruck aufgebracht wird, wobei diese Schicht vor dem Sintern durch Pressen derart verdichtet wird, dass die in den Grünfolien eingebetteten Keramikpartikel sich nur teilweise oder nicht berühren, um gezielt ein Zusammensintern ganz oder teilweise zu unterbinden.

5. Verfahren nach Anspruch 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

die Mikrostrukturen durch eine Menge anorganischer Füllpartikel mit einem Durch-

5 m e s s e r v o n  $\leq 1 \mu\text{m}$ , welche nicht mit dem piezoelektrischen Werkstoff des Stapels reagieren, ausgebildet sind, wobei die Füllpartikel dem Binder zugesetzt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

10 d i e M i k r o s t ö r u n g e n d u r c h K e r b a n r i s s e i n d u z i e r t s i n d , w e l c h e e n t w e d e r i m g r ü n e n o d e r g e s i n t e r t e n Z u s t a n d e r z e u g t w e r d e n , j e d o c h o h n e d i e t r a g e n d e Q u e r s c h n i t t s - f l ä c h e d e s A k t o r s t a p e l s z u r e d u z i e r e n .

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

d i e A u s s e n k o n t a k t i e r u n g i n K e n n t n i s d e r L a g e d e r e i n g e b r a c h t e n o d e r v o r g e s e h e n e n M i k r o s t ö r u n g e n e r s t e l l t w i r d , w o b e i d i e A u s s e n k o n t a k t i e r u n g j e w e i l s e i n e f l ä c h i g e B i e g e g e l e n k e l e k t r o d e u m f a s s t , w e l c h e m i t d e r G r u n d m e t a l l i s i e r u n g m i n d e s t e n s i m B e r e i c h z w i s c h e n d e n M i k r o s t ö r u n g e n p u n k t u e l l o d e r a b s c h n i t t s w e i s e e l e k t r i s c h i n

20 V e r b i n d u n g s t e h t .

8. Verfahren nach Anspruch 7,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

d i e B i e g e e l e k t r o d e a u s e i n e m a u f g e l ö t e t e n K u p f e r / B e r y l l i u m - S t r e i f e n b e s t e h t u n d

25 d e r S t r e i f e n j e w e i l s o f f e n e E l l i p s e n f o r m a u f w e i s e n d e A b s c h n i t t e u m f a s s t , w o b e i d i e H a u p t a c h s e d e r j e w e i l i g e n o f f e n e n E l l i p s e j e w e i l s i m B e r e i c h e i n e r d e r M i k r o - s t ö r u n g e n v e r l ä u f t .

9. Verfahren nach Anspruch 7,

30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

d i e B i e g e e l e k t r o d e a l s M ä a n d e r - o d e r D o p p e l m ä a n d e r e l e k t r o d e a u s g e f ü h r t i s t , w o b e i d i e V e r b i n d u n g s a b s c h n i t t e d e s M ä a n d e r s j e w e i l s i m B e r e i c h d e r M i k r o s t ö r u n g e n v e r l a u f e n .

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
auf den Biegeelektroden Lötanschnitte oder Lötunkte zur weiteren Verdrahtung  
vorgesehen sind.

5

11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
auf die Stapelanordnung elektrodenfreie passive Endschichten als Kraftkoppelflächen  
aufgebracht werden.

10

12. Verfahren nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Abstand der ersten Mikrostörung zur passiven Endschicht gleich dem ganzen  
oder halben Abstand der übrigen über die Längsachse verteilten Mikrostörungen  
gewählt wird.

15

13. Monolithischer Vielschichtaktor aus einem piezokeramischen oder elektro-  
striktiven Material, wobei der Aktor eine Stapelanordnung von Piezoplaten ist,  
welche über innere Elektroden, eine gemeinsame Grundmetallisierung sowie  
Aussenkontaktierung verfügt,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
entlang der Stapellängsachse im wesentlichen parallel zu den Innenelektroden,  
delaminierende Mikrogefügestörungen vorhanden sind, welche die Zugfestigkeit im  
Vergleich zum umgebenden Gefüge bei gleichzeitigem Erhalt der Druckfestigkeit des  
Stapels verringern.

20

25

14. Monolithischer Vielschichtaktor nach Anspruch 13,  
gekennzeichnet durch eine dehnungsresistente, flächige Aussenelektrode, welche  
nur punktuell mit der Grundmetallisierung im Bereich zwischen den delaminierenden  
Mikrogefügestörungen verbunden ist.

30

15. Monolithischer Vielschichtaktor nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Aussenelektrode ein flächig strukturierter Kupfer/Beryllium-Streifen ist.

35

16. Monolithischer Vielschichtaktor nach Anspruch 14,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
die Aussenelektrode die Form eines Mäanders oder Doppelmäanders mit Biege-  
gelenkfunktion aufweist.

- 5 17. Monolithischer Vielschichtaktor nach Anspruch 14,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
die Aussenelektrode die Form aneinandergereihter, offener Ellipsen mit Biege-  
gelenkfunktion aufweist, wobei zwischen den Ellipsen im wesentlichen in Richtung  
der Nebenachsen ein Verbindungs- und Kontaktierungssteg vorhanden ist.

10

18. Monolithischer Vielschichtaktor nach Anspruch 17,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
die Hauptachse der jeweiligen offenen Ellipsen der Aussenelektrode im wesentlichen  
im Bereich der Mikrogefügestörungen verläuft.

15

19. Monolithischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 13 bis 18,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
elektrodenfreie passive Endschichten am oberen und/oder unteren Ende des Aktors  
ausgebildet sind.

20

20. Monolithischer Vielschichtaktor nach Anspruch 19,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
die passiven Endschichten eine monolithische Isolationsschicht umfassen, welche  
Koppelemente trägt oder aufnimmt.

25

21. Elektrische Aussenkontaktierung für einen monolithischen Vielschichtaktor aus  
einem piezokeramischen oder elektrostriktiven Material, wobei der Aktor eine  
Stapelanordnung von Piezoplaten mit inneren Elektroden und einer  
Grundmetallisierung umfasst,

30

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
die Aussenelektrode einen dehnungsresistenten, nur punktuell mit der  
Grundmetallisierung verbundenen metallischen Streifen aufweist, welcher eine  
Vielzahl von einzelnen, in einer Ebene befindlichen Biegeelenken besitzt.

35

22. Elektrische Aussenkontaktierung nach Anspruch 21,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

der Streifen aus einer Kupfer/Beryllium-Materiallegierung besteht.

23. Elektrische Aussenkontaktierung nach Anspruch 21 oder 22,  
dadurch gekennzeichnet, dass

5 der Streifen die Form eines Mäanders oder Doppelmäanders aufweist.

24. Elektrische Aussenkontaktierung nach Anspruch 21 oder 22,  
dadurch gekennzeichnet, dass

10 der Streifen aus einer Aneinanderreihung von durch Stege verbundenen offenen  
Ellipsen besteht, wobei die Kontaktierung bevorzugt im Bereich der Stege erfolgt.

1/3

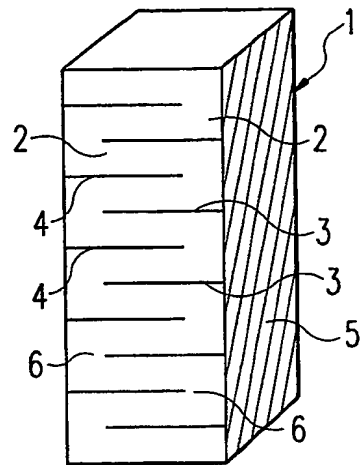


Fig. 1

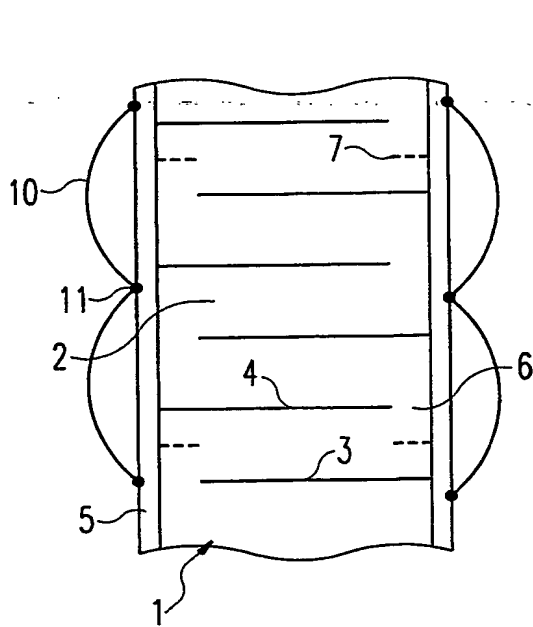


Fig. 2a

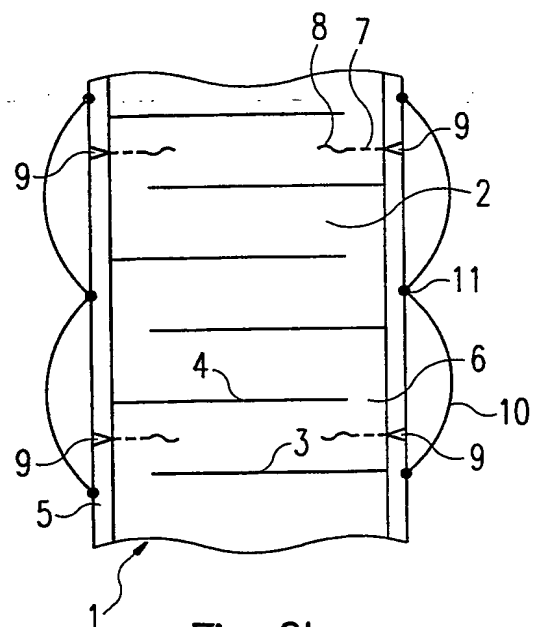


Fig. 2b

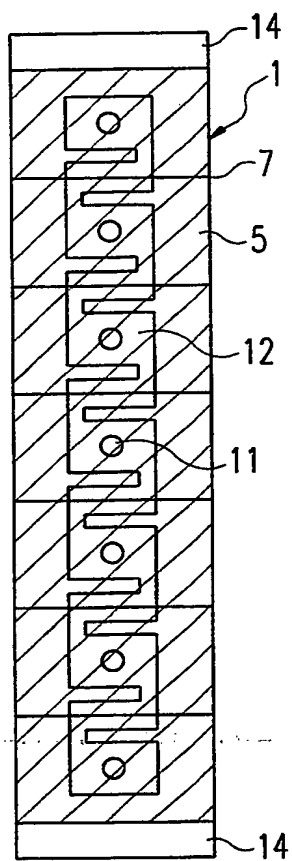


Fig. 3a

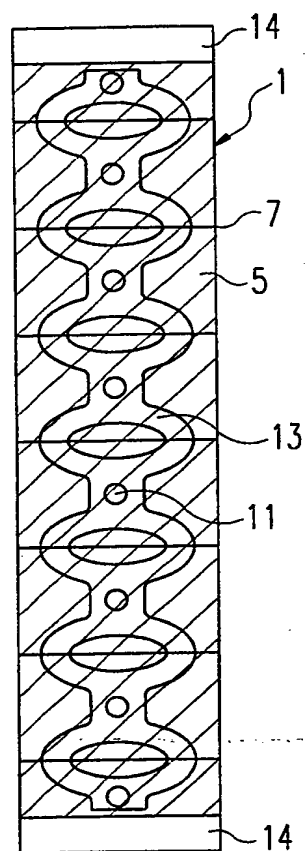


Fig. 3b

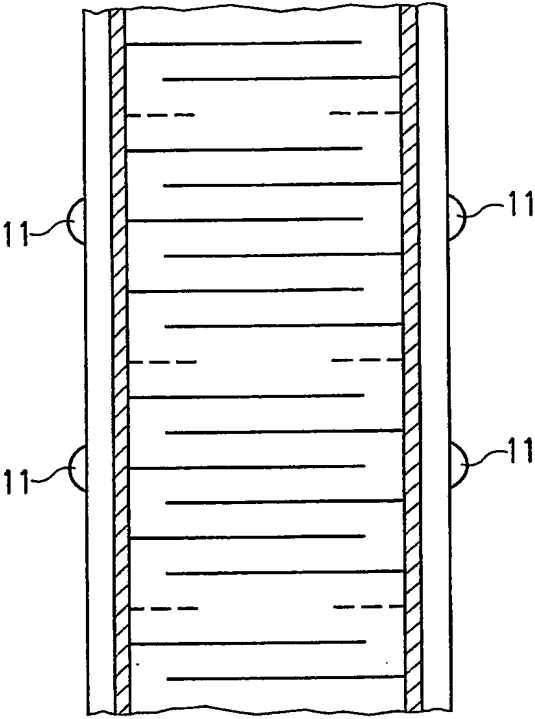


Fig. 4a

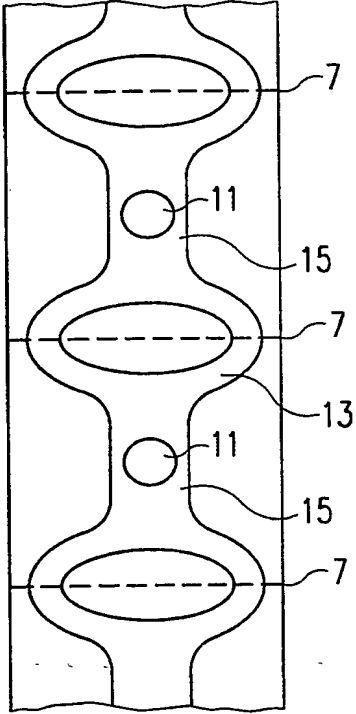


Fig. 4b

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. Dezember 2003 (18.12.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2003/105246 A3**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 41/24**,  
41/083, 41/047
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/005051
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
14. Mai 2003 (14.05.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 25 405.2 7. Juni 2002 (07.06.2002) DE  
102 34 787.5 30. Juli 2002 (30.07.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **PI CERAMIC GMBH KERAMISCHE TECHNOLOGIEN UND BAUELEMENTE** [DE/DE]; Lindenstrasse, 07589 Lederhose (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HEINZMANN, Astrid** [DE/DE]; Eichenstrasse 25, 07549 Gera (DE). **HENNIG,**

Eberhard [DE/DE]; Tachover Ring 7, 07646 Stadtroda (DE). **KOPSCH, Daniel** [DE/DE]; Ortsteil Dautzschen, Vorstadt 7, 04886 Grosssteben-Zwethau (DE). **PERTSCH, Patrick** [DE/DE]; Rodaer Strasse 17e, 07629 Hermsdorf (DE). **RICHTER, Stefan** [DE/DE]; Görnitz, Ortsstrasse 49a, 07927 Hirschberg (DE). **WEHRSDORFER, Elke** [DE/DE]; Jenaer Strasse 18a, 07607 Eisenberg (DE).

(74) Anwälte: **KRUSPIG, Volkmar** usw.; Meissner, Bolte & Partner, Postfach 860 624, 81633 München (DE).

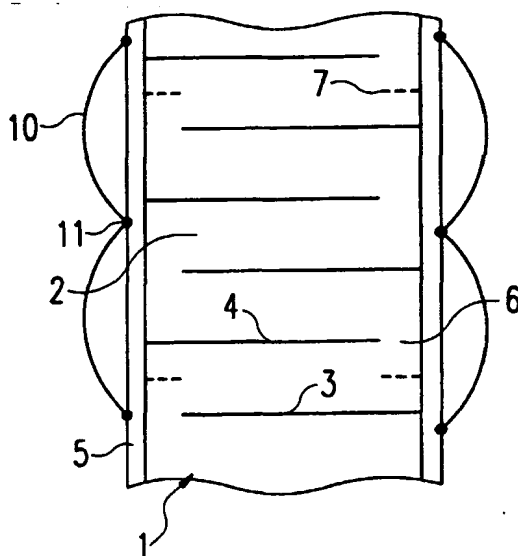
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF A MONOLITHIC MULTILAYER ACTUATOR, MONOLITHIC MULTILAYER ACTUATOR MADE OF A PIEZOCERAMIC OR ELECTROSTRICTIVE MATERIAL, AND EXTERNAL ELECTRICAL CONTACT FOR A MONOLITHIC MULTILAYER ACTUATOR

(54) Bezeichnung: MONOLITHISCHER VIELSCHICHTAKTOR AUS EINEM PIEZOKERAMISCHEN ODER ELEKTROSTRIKTTIVEN MATERIAL SOWIE HERSTELLUNGSVERFAHREN UND ELEKTRISCHE AUSSENKONTAKTIERUNG



(57) Abstract: Disclosed are a method for the production of a monolithic multilayer actuator, a corresponding monolithic multilayer actuator, and an external electrical contact for a monolithic multilayer actuator. Microdisturbances are incorporated in a specific manner into the actuator structure along the longitudinal axis of the stack thereof, essentially parallel to and at a distance from the inner electrodes in the area of the at least two opposite outer surfaces to which the conventional inner electrodes are brought out. Said microdisturbances are subjected to a predefined, restricted, voltage-reducing growth towards the inside and/or towards the outer electrode no sooner than the time that the actuator is polarized. The basic metallic coating and/or external contact is/are embodied in a tensile-resistant or elastic manner at least in the area of the microdisturbances within the actuator structure.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Vielschichtaktors, einen entsprechenden Vielschichtaktor sowie eine Aussenkontaktierung für einen monolithischen Vielschichtaktor. Erfindungsgemäss sind entlang der Stapellängsachse des Aktors im wesentlichen parallel zu den Innenelektroden (3, 4), von diesen beanstandet, im Bereich der mindestens zwei gegenüberliegenden Aussenflächen, zu denen die an sich bekannten Innenelektroden herausgeführt sind, gezielt Mikrostörungen (7, 8) im Aktorgefüge eingebaut, welche frühestens beim Polarisieren des Aktors einen vorgegebenen, begrenzten, spannungsabbauenden Wachstum in das Innere und/oder zur Aussenelektrode unterliegt, wobei weiterhin die Grundmetallisierung (5) und/oder Aussenkontaktierung (10, 11) mindestens im Bereich der Mikrostörungen im Aktorgefüge dehnungsresistent oder elastisch ausgebildet ist.

WO 2003/105246 A3



eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen

Recherchenberichts:

10. Juni 2004

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 03/05051

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H01L41/24 H01L41/083 H01L41/047

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 204 152 A (CERAMTEC AG) 8 May 2002 (2002-05-08)	13
Y	paragraph [0010] - paragraph [0036]; figures 3-7	14, 19, 20 1
A		
Y	EP 0 479 328 A (NEC CORP) 8 April 1992 (1992-04-08)	19, 20
A	column 2, line 1 - column 4, line 11; figures 2, 3 column 8, line 3 - column 11, line 4; figures 6, 8, 9	1-4, 11-13
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 February 2004

Date of mailing of the international search report

22/04/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Köpf, C

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/05051

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 844 678 A (CERAMTEC AG) 27 May 1998 (1998-05-27) cited in the application column 4, line 14 - line 34; figure 3 -----	14
A	DE 39 40 619 A (AVX CORP) 13 December 1990 (1990-12-13) column 4, line 50 - column 8, line 27; figures -----	1-5,13

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (January 2004)

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, namely:

1. Claims: 1-20

Method for producing a monolithic multilayer actuator, characterised in that along the longitudinal stacking axis substantially parallel to the inner electrodes and at a distance therefrom, in the region of the at least two opposite outer surfaces to which the inner electrodes are guided, micro-disturbances are specifically built into the actuator structure which are subjected to a predetermined limited voltage-reducing growth in the interior of the actuator at the earliest when the actuator is polarised.

Monolithic multilayer actuator with delaminating micro-disturbances running along the longitudinal stacking axis substantially parallel to the inner electrodes, said micro-disturbances reducing the tensile strength compared to the surrounding structure whilst at the same time upholding the pressure resistance.

2. Claims 21-24

Electrical outer contact for a monolithic multilayer actuator, characterised in that the outer electrode has a stretch-resistant metallic strip connected only at points to the basic metallic coating, said strip having a plurality of individual bending articulations located in a plane.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/05051

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1204152	A	08-05-2002	DE 10152490 A1	08-05-2002
			EP 1204152 A2	08-05-2002
			JP 2002171004 A	14-06-2002
			US 2002089266 A1	11-07-2002
-----				
EP 0479328	A	08-04-1992	DE 69109990 D1	29-06-1995
			DE 69109990 T2	12-10-1995
			EP 0479328 A2	08-04-1992
			JP 4214686 A	05-08-1992
			US 5237239 A	17-08-1993
-----				
EP 0844678	A	27-05-1998	DE 19648545 A1	28-05-1998
			AT 222404 T	15-08-2002
			DE 59707960 D1	19-09-2002
			DK 844678 T3	07-10-2002
			EP 0844678 A1	27-05-1998
			ES 2177881 T3	16-12-2002
			JP 10229227 A	25-08-1998
			PT 844678 T	29-11-2002
			US 6208026 B1	27-03-2001
-----				
DE 3940619	A	13-12-1990	US 4903166 A	20-02-1990
			CA 2001435 A1	09-12-1990
			DE 3940619 A1	13-12-1990
			FR 2648288 A1	14-12-1990
			GB 2232532 A ,B	12-12-1990
			JP 3011980 A	21-01-1991
-----				

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/05051

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H01L41/24 H01L41/083 H01L41/047

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 204 152 A (CERAMTEC AG) 8. Mai 2002 (2002-05-08)	13
Y		14,19,20
A	Absatz [0010] - Absatz [0036]; Abbildungen 3-7	1
Y	EP 0 479 328 A (NEC CORP) 8. April 1992 (1992-04-08)	19,20
A	Spalte 2, Zeile 1 - Spalte 4, Zeile 11; Abbildungen 2,3 Spalte 8, Zeile 3 - Spalte 11, Zeile 4; Abbildungen 6,8,9	1-4, 11-13
	----- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Februar 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22/04/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Köpf, C

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/05051

Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Bezeichnung	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 844 678 A (CERAMTEC AG) 27. Mai 1998 (1998-05-27) in der Anmeldung erwähnt Spalte 4, Zeile 14 - Zeile 34; Abbildung 3 -----	14
A	DE 39 40 619 A (AVX CORP) 13. Dezember 1990 (1990-12-13) Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 8, Zeile 27; Abbildungen -----	1-5,13

Formblatt PCT/ISA/210 (Fortsetzung von Blatt 2) (Januar 2004)

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 03/05051

## Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr. \_\_\_\_\_  
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich \_\_\_\_\_
2. ☐ Ansprüche Nr. \_\_\_\_\_  
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich \_\_\_\_\_
3. ☐ Ansprüche Nr. \_\_\_\_\_  
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

## Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr. \_\_\_\_\_
4. ☒ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:  
1-20

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
- ☐ Die Zahlung zusätzlicher Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

## WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

## 1. Ansprüche: 1-20

Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Vielschichtaktors dadurch gekennzeichnet, daß entlang der Stapellängsachse im wesentlichen parallel zu den Innenelektroden, von diesen beabstandet, im Bereich der mindestens zwei gegenüberliegenden Aussenflächen, zu denen die Innenelektroden herausgeführt sind, gezielt Mikrostörungen im Aktorgefüge eingebaut werden, welche frühestens beim Polarisieren des Aktors einem vorgegebenen begrenzten spannungsabbauendem Wachstum in das Innere des Aktors unterliegen

Monolithischer Vielschichtaktor mit entlang der Stapellängsachse im wesentlichen parallel zu den Innenelektroden verlaufenden delaminierenden Mikrostörungen, welche die Zugfestigkeit im Vergleich zum umgebenden Gefüge bei gleichzeitigem Erhalt der Druckfestigkeit verringern

---

## 2. Ansprüche: 21-24

Elektrische Aussenkontaktierung für einen monolithischen Vielschichtaktor dadurch gekennzeichnet, daß die Aussenelektrode einen dehnungsresistenten, nur punktuell mit der Grundmetallisierung verbundenen metallischen Streifen aufweist, welcher eine Vielzahl von einzelnen, in einer Ebene befindlichen Biege Gelenken besitzt

---

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/05051

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1204152 A	08-05-2002	DE 10152490 A1	08-05-2002
		EP 1204152 A2	08-05-2002
		JP 2002171004 A	14-06-2002
		US 2002089266 A1	11-07-2002
EP 0479328 A	08-04-1992	DE 69109990 D1	29-06-1995
		DE 69109990 T2	12-10-1995
		EP 0479328 A2	08-04-1992
		JP 4214686 A	05-08-1992
		US 5237239 A	17-08-1993
EP 0844678 A	27-05-1998	DE 19648545 A1	28-05-1998
		AT 222404 T	15-08-2002
		DE 59707960 D1	19-09-2002
		DK 844678 T3	07-10-2002
		EP 0844678 A1	27-05-1998
		ES 2177881 T3	16-12-2002
		JP 10229227 A	25-08-1998
		PT 844678 T	29-11-2002
		US 6208026 B1	27-03-2001
DE 3940619 A	13-12-1990	US 4903166 A	20-02-1990
		CA 2001435 A1	09-12-1990
		DE 3940619 A1	13-12-1990
		FR 2648288 A1	14-12-1990
		GB 2232532 A ,B	12-12-1990
		JP 3011980 A	21-01-1991

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☒ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**